ACRP | ACNS
CCRP | CCSN
ACNS | ACRP
CCSN | CCRP
ACRP | ACNS
CCRP | CCSN
ACNS | ACRP
CCSN | CCRP
ACRP | ACNS
CCRP | CCSN
ACNS | ACRP
CCSN | CCRP
ACRP | ACNS
CCRP | CCSN
ACNS | ACRP
CCSN | CCRP
ACRP | ACNS
CCRP | CCSN
ACNS | ACRP
CCSN | CCRP

INFO-0387(F)

AC-2

APPLICATION DU PROCESSUS ALARA À LA RÉGLEMENTATION DES ACTIVITÉS NUCLÉAIRES

Rapport du

Comité consultatif de la radioprotection
et du
Comité consultatif de la sûreté nucléaire

Mai 1991

APPLICATION DU PROCESSUS ALARA À LA RÉGLEMENTATION DES ACTIVITÉS NUCLÉAIRES

SOMMAIRE

Dans le présent rapport, on examine la base historique et conceptuelle du processus ALARA. On s'est interrogé sur l'application d'une approche normative uniquement, particulièrement d'une approche quantitative rigoureuse au processus de prise de décision. Bien qu'ils reconnaissent la valeur de méthodes quantitatives, les comités insistent fortement sur le fait que l'application du concept ALARA est un processus beaucoup plus d'envergure pour déterminer des niveaux de protection acceptables. Un processus ALARA doit tenir compte de facteurs sociaux et économiques non quantifiables; il doit également tenir compte de tous ceux qui ont un intérêt légitime dans les résultats du processus.

Ce document a été approuvé par
la CCEA pour publication en
novembre 1990, mais il a été
révisé avant sa publication
en avril 1991.

Nota : Un coefficient de risque de 2×10^{-2} par personne-sievert est utilisé dans le présent document. Si le coefficient de risque nominal était de $5,6 \times 10^{-2}$ par personne-sievert pour les travailleurs et de $7,3 \times 10^{-2}$/personne-sievert pour le public en général, comme le recommandait la Commission internationale de protection radiologique dans la publication ICRP 60 [33], les valeurs numériques analysées dans le présent document pour le risque à vie par personne-sievert et les valeurs monétaires par vie sauvée devraient être augmentées d'un facteur de 3 à 4.

APPLICATION DU PROCESSUS ALARA À LA RÉGLEMENTATION DES ACTIVITÉS NUCLÉAIRES

RÉSUMÉ

INTRODUCTION

La Commission de contrôle de l'énergie atomique a manifesté son intention d'inclure une exigence visant à maintenir les doses au "niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre" (ALARA) dans le projet de remaniement du Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique. Le concept ALARA, aussi désigné par "optimisation", est apparu comme le concept dominant des recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et a été énoncé dans sa forme actuelle dans la publication CIPR 26 [7] en tant qu'un des trois plus importants principes du système de limitation de dose de la CIPR. Ces principes sont les suivants :

a) *"aucune pratique ne doit être adoptée à moins que son introduction ne produise un bénéfice net positif" (justification);*

b) *"toutes les expositions doivent être maintenues au niveau le plus bas que l'on pourra raisonnablement atteindre (ALARA), compte tenu des facteurs économiques et sociaux" (optimisation); et*

c) *"l'équivalent de dose reçu par les individus ne doit pas dépasser les limites recommandées par la Commission dans les circonstances en question" (limitation de la dose).*

Le Comité consultatif de la sûreté nucléaire (CCSN) et le Comité consultatif de la radioprotection (CCRP) ont pris en considération la modification proposée à la réglementation et ont donné dans le présent rapport une ligne de conduite concernant l'application du processus ALARA.

Comme il est déjà indiqué dans la publication CIPR-26 (paragraphes 72 à 74), l'application du processus ALARA à une activité quelconque tient compte de *"la variation de bénéfice net qu'impliquerait l'obligation d'exercer cette activité à un niveau de dose plutôt qu'à un autre ... Le bénéfice net sera optimal lorsque ... l'augmentation de coût de la protection par unité d'équivalent de dose compense la réduction [en coût] de détriment par unité d'équivalent de dose".* On peut réduire continuellement le risque dû aux rayonnements en augmentant le niveau de radioprotection. L'expérience révèle que les coûts liés à la sûreté suivent habituellement une loi des rendements décroissants. À mesure que le niveau de radioprotection augmente (et que la dose collective diminue), les coûts marginaux des réductions additionnelles de la dose collective augmentent et finalement tendent à devenir prohibitifs. Il faut imposer certaines limites raisonnables aux dépenses de cette nature.

Une étape essentielle dans l'application du concept ALARA est la détermination des "coûts marginaux de réduction de la dose" (CMRD). Une deuxième étape essentielle, la détermination de l'accroissement du bénéfice (diminution du détriment) à mesure que la dose collective est diminuée, est plus complexe. L'estimation de la réduction du détriment pour la santé comporte des incertitudes résultant de l'absence de données pertinentes sur les coûts liés à la protection de la santé et d'un désaccord sur des questions comme la population à risque, la période de temps à considérer dans la sommation des apports individuels à la dose

collective et la plus basse limite de dose individuelle. De plus, il faut prendre en considération d'autres risques non-radiologiques ainsi que d'autres facteurs, comme la viabilité économique de l'entreprise, l'efficacité de ses procédés, les relations publiques et peut-être même l'aspect esthétique, pour trouver une solution optimale à l'affectation des fonds.

FACTEURS LIÉS À L'ESTIMATION DE LA DOSE

La quantité qui est souvent utilisée pour exprimer les doses de rayonnement en rapport avec le détriment pour la santé dû aux rayonnements ionisants est l'engagement d'équivalent de dose effectif collectif (EEDEC). Pour estimer cette quantité dans un cas particulier, il faut connaître les débits de dose individuelle et la (les) population(s) exposée(s) durant la période où les doses seront reçues.

Lorsque les doses sont reçues sur de courtes périodes et par des populations bien définies, la réduction de la dose collective attribuable à une modification de la méthode comporte peu d'incertitude. Cependant, dans le cas où des radionucléides sont rejetés dans l'environnement, les populations exposées et les débits de dose peuvent seulement être estimés. Dans les estimations, il faut tenir compte des voies par lesquelles les nucléides atteignent le public et des modifications susceptibles de se produire au cours de la période pendant laquelle les doses sont importantes. Ni le comportement dans l'environnement ni les populations exposées sur de longues périodes ne peuvent être prévus avec certitude. De plus, il est probable que la dose engagée résulte de doses individuelles très faibles si les nucléides sont largement dispersés. Le recours à l'engagement de dose dans de telles circonstances est douteux et, en pratique, il est peu probable qu'il soit rentable de consacrer des efforts en vue de réduire les faibles doses au-dessous des niveaux *de minimis*.

La préoccupation au sujet de ces engagements de dose collectifs résultant de doses individuelles très faibles reçues par de grandes populations découle de l'hypothèse conservatrice d'absence de seuil, qui est basée sur une relation linéaire. Étant donné que le risque individuel relatif est indépendant de la taille de la population et qu'il serait d'environ $1,5 \times 10^{-6}$ sur une durée de vie de 75 ans si le débit d'équivalent de dose effectif individuel était de 1 microSv/a, une grande partie des difficultés conceptuelles et pratiques pourraient être éliminées si une limite plus faible, 1 microSv/a, était adoptée pour le calcul de l'EEDEC. Cette limite plus faible tient compte des apports possibles d'un certain nombre de sources.

Il a été proposé de réduire l'influence des doses reçues par les populations futures en raison de l'incertitude liée aux estimations de dose et de la possibilité que la science médicale trouve un remède aux différentes formes de cancers susceptibles d'être causés par l'exposition aux rayonnements ionisants. Les comités considèrent qu'on peut réduire l'influence de ces doses dans une certaine mesure mais qu'en raison des incertitudes concernant les estimations de dose collective future, il est peu justifié de s'attarder à définir une approche minutieuse à adopter sur cette question. La décision concernant la nature exacte du rejet doit être prise dans le cadre du processus ALARA.

ESTIMATION DES COÛTS LIÉS AU DÉTRIMENT POUR LA SANTÉ ET AUX AMÉLIORATIONS DE LA SÉCURITÉ

Bien que le nombre de cancers mortels et de tares génétiques liés à une dose collective puisse être estimé, l'attribution d'un coût aux effets de la dose est plus discutable. Les démarches visant à estimer le coût que représente une fatalité pour la société sont souvent perçues comme des démarches visant à attribuer une valeur à la vie humaine, ce qui suscite des difficultés conceptuelles et philosophiques.

En dépit des difficultés, un certain nombre de démarches ont été entreprises en vue d'évaluer le coût d'une fatalité pour la société. Graham et Vaupel (10) ont comparé plusieurs démarches de cette nature en considérant deux approches : l'approche "capital humain", basée en grande partie sur la valeur des salaires non gagnés en raison d'une mort prématurée, et l'approche "disposition à payer", dans laquelle on estime le montant que les gens sont disposés à payer afin de réduire la probabilité de mort prématurée. Ils constatent que dans les études basées sur la "disposition à payer" la "valeur d'une vie" est estimée entre 50 000 $ et 8 000 000 $ (dollars US de 1978). En combinant ces valeurs avec le facteur de risque de tares génétiques et de cancers totaux (2×10^{-2}/personne-Sv), la plage correspondante de valeurs de dose collective unitaire est comprise entre 1 000 $ et 160 000 $ par personne-Sv.

Dans une industrie ou une activité particulière, les décisions de gestion destinées à réduire davantage les doses radiologiques professionnelles au-dessous des limites de la réglementation peuvent être fondées en grande partie sur la réduction des coûts liés au détriment pour la santé et à la radioprotection combinés. Cependant, les décisions peuvent aussi être basées sur des aspects plus étendus et des avantages indirects. Il semble n'exister aucune réponse normative simple à la question suivante : quelle somme additionnelle devrait-on consacrer à l'amélioration de la sécurité? Les comités ne font aucune recommandation quant à une valeur des dépenses visant à réduire la dose unitaire mais ils renvoient les responsables des décisions dans ce domaine à une importante annexe montrant les dépenses qui ont été effectuées pour sauver des vies et qui, à leur tour, ont été converties en dollars par personne-Sv de réduction.

ALARA EN TANT QUE PROCESSUS

La mise en application du processus ALARA est considérée par les comités comme étant aussi importante que le résultat de ce processus. À cet égard, les aspects suivants sont particulièrement importants :

- une description du contexte dans lequel les décisions doivent être prises, y compris tous les facteurs sociaux et économiques et leur pertinence dans le contexte particulier; et

- une description du processus de prise de décisions; la façon dont les personnes affectées auront un apport dans le processus et participeront à la décision finale (dans le cas d'une population qui est de toute évidence affectée, la CCEA devrait jouer un rôle de chef de file afin d'assurer cet apport et cette participation).

APPLICATION DU CONCEPT ALARA

Lorsque les doses de rayonnement sont faibles, une brève analyse pourrait bien montrer que toute dépense additionnelle visant à réduire la dose serait une allocation inadéquate des ressources. D'autre part, on peut s'attendre à des analyses approfondies dans le cas des installations importantes et complexes. Dans tous les cas, la réduction des risques non radiologiques devrait aussi être prise en considération dans l'allocation des ressources. Le processus ALARA devrait être applicable aux situations dans lesquelles les travailleurs ou le public peuvent être exposés aux rayonnements à la suite de l'utilisation ou de l'évacuation de matières radioactives, ou de l'exploitation ou du déclassement d'une installation nucléaire. Il ne doit cependant pas être appliqué aux accidents plus graves envisagés, par exemple, dans le cadre de l'analyse de sûreté d'une centrale nucléaire, étant donné que l'approche déterministe prescrite pour tenir compte de ces accidents exclut l'utilisation d'un processus ALARA dans l'établissement des objectifs en matière de risque. La remise en état à la suite d'un accident, toutefois, doit être soumise à un processus ALARA.

Idéalement, au stade de la conception d'un projet, l'application du processus ALARA au matériel ou aux méthodes qui peuvent constituer une source de doses pour les travailleurs et le public en cours d'utilisation normale ou d'évacuation subséquente comprend une comparaison de différentes options de conception du matériel ou des méthodes. Lorsqu'il existe déjà un bassin considérable d'expérience et de connaissance en matière de doses collectives et de risques non-radiologiques pour des projets similaires, le nombre d'options de conception à considérer est grandement réduit.

En cours d'exploitation, il est important d'effectuer la comptabilité de dose, c.-à-d. identifier les substances, le matériel ou les opérations qui sont des sources de dose collective aux divers groupes professionnels. Des modifications des méthodes d'exploitation ou de la conception peuvent alors être envisagées.

Outre la dose collective, il faut tenir compte des niveaux de dose individuelle étant donné que l'exposition continue d'un travailleur ou d'un groupe professionnel à des doses égales aux limites annuelles ou voisines de celles-ci n'est pas acceptable. La réduction des niveaux de dose individuelle par une répartition sur une plus grande population n'est pas acceptable non plus. Des compromis entre la répartition de la dose entre le public et les travailleurs et entre les risques radiologiques et les risques non-radiologiques doivent aussi être envisagés.

CONCLUSIONS

À mesure que les données concernant le risque dû aux rayonnements et les coûts humains deviendront plus affinées, le processus ALARA deviendra plus "objectif". Cependant, du point de vue décrit dans le présent rapport, l'"objectivité" fait simplement partie d'un plus vaste processus subjectif et nécessairement consultatif par lequel la société peut compter utiliser des ressources finis très judicieusement et très efficacement en vue d'assurer la santé des individus et de la population.

TABLE DES MATIÈRES

Page

SOMMAIRE .....(i)

RÉSUMÉ .....(ii)

TABLE DES MATIÈRES

1. **INTRODUCTION** 1

2. **HISTORIQUE** 2

3. **LA PRATIQUE ET LA PERFORMANCE AU CANADA** 4

4. **JUSTIFICATION ET OPTIMISATION EN RADIOPROTECTION** 5

   4.1 Justification 6

   4.2 Optimisation (ALARA) 6

   4.3 Optimisation de tous les risques et avantages 9

5. **FACTEURS ASSOCIÉS À L'ESTIMATION DE LA DOSE** 9

6. **ESTIMATION DES COÛTS LIÉS AU DÉTRIMENT POUR LA SANTÉ ET AUX AMÉLIORATIONS DE LA SÉCURITÉ** 12

   6.1 Estimation des coûts liés au détriment pour la santé 12

   6.2 Estimation des coûts liés aux améliorations de la sécurité ... 12

   6.3 Prise de décisions concernant les dépenses en matière d'améliorations de la sécurité 14

7. **ALARA EN TANT QUE PROCESSUS** 14

8. **APPLICATION DU PROCESSUS ALARA** 15

   8.1 Domaine d'application 15

   8.2 Application au stade de la conception 16

   8.2 Application en cours d'exploitation 17

   8.3 Application au stade du déclassement ou de l'évacuation 17

9. **CONCLUSIONS** 18

10. **RECOMMANDATIONS** 19

Glossaire 20

Références 24

Bibliographie supplémentaire 27

Remerciements 28

Annexe 29

Références de l'annexe 33

APPLICATION DU PROCESSUS ALARA À LA RÉGLEMENTATION DES ACTIVITÉS NUCLÉAIRES

1. INTRODUCTION

Dans son processus de délivrance d'autorisations, la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) s'attend depuis un certain temps à ce que les exploitants d'installations nucléaires maintiennent les doses de rayonnement aux travailleurs et au public au "niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre" (ALARA); cependant, aucune exigence particulière relative au concept ALARA n'a été incluse dans le Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique [1]. En 1986, la CCEA a décidé d'ajouter une exigence à cet effet dans le projet de remaniement du Règlement [2] :

> *"Tout titulaire de permis ... institue et met en vigueur des mesures pour maintenir les doses de rayonnement que reçoit toute personne ou tout groupe de personnes à l'intensité la plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux pertinents".*

Le concept ALARA est largement accepté à l'échelle internationale mais son application concrète sous forme de mesures de radioprotection a occasionné certaines difficultés. Le concept ALARA a été décrit de différentes façons. Par exemple, dans un éditorial de 1985 du United Kingdom National Radiological Protection Board (UK NRPB) [3], le sujet est abordé de la façon suivante :

> (traduction libre)
> *"[Le UK NRPB] encourage la réalisation ... d'un point d'équilibre auquel les expositions aux rayonnements ont été réduites par tous les moyens raisonnables de telle sorte que toute réduction additionnelle, si elle est réalisable, ne peut l'être que par l'utilisation d'une quantité démesurée de ressources ... Le [NRPB] ne considère pas que son appui à cet objectif soit le mieux servi en faisant pression pour obtenir des politiques de plus en plus restrictives qui viseraient à réduire les expositions aux rayonnements sans tenir compte des conséquences sociales et économiques."*

Le Comité consultatif de la sûreté nucléaire (CCSN) et le Comité consultatif de la radioprotection (CCRP) considèrent que l'addition du concept ALARA au Règlement constituera une modification importante de la réglementation et qu'une ligne de conduite additionnelle concernant son application devra être fournie. Plusieurs aspects devront être examinés si on veut que l'exigence permette d'atteindre le but visé, c.-à-d. assurer un équilibre approprié entre la réduction des doses[1] de rayonnement et l'accroissement des coûts attribuables à ces réductions. Le présent rapport contient les résultats des délibérations des comités.

---

[1] "Dose" dans le présent rapport désigne l'"équivalent de dose effectif" et comprend la dose engagée reçue à partir des substances radioactives dans l'organisme.

2. HISTORIQUE

À l'échelle internationale, l'histoire de la radioprotection est étroitement reliée à l'histoire de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Avant les années 1950, les recommandations de la CIPR visaient principalement à prévenir les lésions précoces résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants. On avait fait ces premières recommandations après avoir observé l'existence d'un seuil de dose au-dessous duquel il ne se produisait pas d'effets précoces. Par la suite, lorsque les effets tardifs (cancers et tares génétiques) sont devenus un sujet d'inquiétude, on a formulé l'hypothèse conservatrice selon laquelle il n'existe pas de seuil de dose pour ces effets tardifs.

On reconnaît généralement aujourd'hui qu'il existe une relation entre la dose de rayonnement et la probabilité d'effets biologiques tardifs à tous les niveaux de dose (les effets augmentent de façon monotone avec la dose), mais la nature exacte de cette relation aux faibles doses demeure quelque peu incertaine. Cependant, on suppose habituellement, à des fins de radioprotection, que la relation entre la probabilité d'un effet nuisible et la dose de rayonnement est linéaire jusqu'à une dose nulle[2].

La CIPR a toujours adopté une position prudente à l'égard des effets des rayonnements. Ses recommandations publiées en 1959 indiquaient notamment que *"toutes les doses doivent être maintenues au plus bas niveau possible et que toute exposition inutile doit être évitée"* (traduction) [4]. La formulation actuelle donnée par la CIPR au concept ALARA a vu le jour lorsque la Commission a recommandé en 1966 d'*"éviter toute exposition inutile et de maintenir toutes les doses aux valeurs les plus faibles auxquelles l'on peut parvenir sans difficulté"* [5]. Un autre pas a été franchi dans cette direction avec la publication du document ICRP 22, en 1973, dans lequel on indiquait que l'adverbe *"raisonnablement"* (possible d'atteindre) reflétait le mieux les intentions de la Commission [6].

Le concept ALARA a été repris avec les autres principes plus importants du système de limitation de la dose de la CIPR en 1977 dans la publication CIPR 26 [7]. Ces principes y sont énoncés de la façon suivante :

a) *"aucune pratique ne doit être adoptée à moins que son introduction ne produise un bénéfice net positif";*

b) *"toutes les expositions doivent être maintenues au niveau le plus bas que l'on pourra raisonnablement ateindre (ALARA), compte tenu des facteurs économiques et sociaux"*; et

---

[2]Un coefficient de risque de 2 x 10^{-2} par personne-sievert est utilisé dans le présent document. Si le coefficient de risque nominal était de 5,6 x 10^{-2} par personne-sievert pour les travailleurs et de 7,3 x 10^{-2}/personne-sievert pour le public en général, comme le recommandait la Commission internationale de protection radiologique dans la publication ICRP 60 [33], les valeurs numériques analysées dans le présent document pour le risque à vie par personne-sievert et les valeurs monétaires par vie sauvée devraient être augmentées d'un facteur de 3 à 4.

c) *"l'équivalent de dose reçu par les individus ne doit pas dépasser les limites recommandées par la Commission dans les circonstances en question".*

Ces trois principes sont qualifiés respectivement sous forme abrégée de justification de la pratique, optimisation de la radioprotection et limitation de la dose.

L'application du principe de justification au Canada dans le cas de la réalisation de projets de grande importance, tels que les réacteurs nucléaires ou les établissements de recherche, a toujours été considérée comme relevant du domaine politique. Cependant, pour les applications proposées des radioisotopes ou des rayonnements, la prise de décision a habituellement relevé du domaine de la réglementation (comme le montre nettement, par exemple, l'interdiction d'utiliser frivolement les radioisotopes dans les jouets).

Une méthode quantitative (coûts-bénéfices) officielle d'étude de l'optimisation de la radioprotection a d'abord été présentée dans le document ICRP-37 [8]. Cependant, les comités, et d'autres groupes, ont trouvé qu'il était difficile d'appliquer cette méthode à des situations concrètes dans lesquelles il faut tenir compte des facteurs moins quantifiables ayant une plus grande importance sociale. La CIPR a récemment fourni d'autres lignes directrices dans le document ICRP-55 [9], où il est mentionné que :

> (traduction libre)
> *"Les jugements concernant l'optimisation de la protection ne sont pas purement quantitatifs - ils reposent sur des préférences entre des détriments de différents types et entre des coûts financiers et des effets sur la santé - mais ils peuvent s'appuyer sur des méthodes quantitatives ... Le présent rapport ... fournit certaines indications relatives aux méthodes qui peuvent être utiles dans ce processus d'établissement d'un équilibre et à leurs différents degrés de complexité. De plus, il ... contient des lignes directrices relatives à leur applicabilité à divers types de problèmes.*

Le concept ALARA de la CIPR ne représente qu'une des approches adoptées en vue de réduire le risque pour les travailleurs et le public. Par exemple, d'après le concept de la "meilleure technologie disponible" [10], les plus récentes innovations technologiques doivent être utilisées pour réduire le risque, quel qu'en soit le coût. On n'a pas à se demander si une réduction de la dose est nécessaire ou si elle est justifiable financièrement. Bien que bon nombre des approches puissent être justifiées comme étant des concepts abstraits qui protègent la santé des individus, la plupart ne tiennent pas compte de l'ampleur du risque dû aux rayonnements en comparaison d'autres risques auxquels sont exposés les travailleurs et la société. De plus, dans certains cas, elles sont extensibles et n'imposent aucune limite quant aux dépenses liées à leur application.

3. LA PRATIQUE ET LA PERFORMANCE AU CANADA

Des approches en matière de radioprotection semblables à différents degrés au concept ALARA ont été adoptées pendant une longue période dans le milieu de la

radioprotection au Canada. Par exemple, le "Principe d'exposition minimale" a été énoncé dans le règlement sur la radioprotection de l'Hydro Ontario, publié la première fois en décembre 1962 : *"Toutes les doses doivent être maintenues au plus bas niveau possible et les expositions inutiles doivent être évitées"* (traduction libre) [11]. Des principes similaires ont été énoncés par d'autres détenteurs de permis relatifs à des réacteurs de puissance et chacun de ces principes est inclus dans la réglementation du fait qu'il est mentionné dans le permis, accompagné d'une stipulation selon laquelle il ne peut être modifié sans l'autorisation de la Commission.

La méthode actuelle pour établir un objectif en matière de rejets de substances radioactives par les centrales nucléaires à 1 % des limites opérationnelles dérivées (LOD) n'est pas basée sur un processus ALARA officiel. Cependant, les personnes concernées considéraient qu'il s'agissait d'un objectif raisonnable, et, dans la pratique, des niveaux inférieurs à 1 % ont habituellement été atteints. Une autre indication de la recherche active en vue de réduire la dose au Canada est la tendance observée en fonction du temps dans le cas de la dose collective professionnelle par réacteur. On estime que la dose collective professionnelle est trois à cinq fois plus faible dans les centrales nucléaires mises en service récemment que dans les anciennes [12, 13].

Dans le cas des mines d'uranium et de thorium, on n'a pas toujours insisté sur l'application formelle de la philosophie ALARA. Cependant, dans le Règlement sur les mines d'uranium et de thorium [14], qui est entré en vigueur en avril 1988, la phrase

> *"13.(2) Le permis ... peut contenir ... d) les mesures à prendre pour prévenir, réduire et contrôler les risques dus aux rayonnements qui découlent des activités de la ..."*

apparaît à la partie 1 (Permis) dans chaque article traitant d'une phase de la délivrance de permis, et à la partie III (Ventilation et dépoussiérage), la phrase

> *"27. Le titulaire de permis ... f) réduit, [autant que] possible, la quantité de radon et de thoron qui contamine l'air, venant des trous de forage au diamant et des puits de drainage"*

apparaît. Par conséquent, pour les principales installations du moins, on a porté une attention particulière à la réduction de la dose, sinon à sa réduction au minimum.

Les doses de rayonnement reçues par les individus en raison de l'exposition professionnelle ont été en moyenne bien au-dessous des limites prescrites dans la réglementation, ce qui peut être attribué, en partie du moins, à l'exigence de la CIPR à l'effet que les doses doivent être maintenues au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre. Le tableau 1, basé sur un rapport de Santé et Bien-être social Canada [15], montre les doses pour la vie pour divers groupes professionnels exposés aux rayonnements au Canada, calculées en fonction d'une période de 40 ans d'exposition professionnelle aux débits de dose annuels actuels. Comme l'exposition pendant 40 ans à la limite de dose professionnelle se traduirait par une dose pour la vie de 2000 mSv, on peut remarquer que pour un bon nombre de groupes professionnels la dose moyenne pour

la vie est inférieure à 10 pour cent de cette valeur.

TABLEAU 1

Doses pour la vie prévues d'exposition professionnelle aux rayonnements

Groupe professionnel	Dose en mSV pour la vie (40 ans)
Technicien de laboratoire médical	37
Physicien médical	84
Technicien en radiologie (diagnostic)	50
Technicien en radiologie (thérapie)	78
Radiologiste (diagnostic)	61
Technicien en médecine nucléaire	96
Peintre de cadran	540
Diagraphiste des puits de pétrole	80
Radiographe industriel	300
Ouvrier au traitement de combustible nucléaire	170
Travailleur de centrale nucléaire (toutes catégories)	240
Ouvrier à l'entretien mécanique dans une centrale nucléaire	460
Opérateur de réacteur	460
Ouvrier de mine d'uranium	140 + 40 WLM*

* En plus des 140 mSv de rayonnement gamma, l'exposition prévue des mineurs d'uranium aux produits de filiation du radon est de 40 unités alpha-mois, valeur qui peut être convertie en un équivalent de dose effectif d'environ 200-400 mSv.

Bien que tous les aspects de la sûreté des méthodes autorisées par la Commission relèvent de celle-ci, les comités ne savent pas si elle a exigé qu'on tienne compte à la fois des risques radiologiques et des risques non-radiologiques pour arriver à une solution optimale particulière de radioprotection. Ce contexte plus vaste de radioprotection est approfondi à la section 4.3.

4. JUSTIFICATION ET OPTIMISATION EN RADIOPROTECTION

Bien que le présent rapport traite du processus de sélection d'un niveau optimal de radioprotection, tant pour l'exposition du public que pour celle des travailleurs, il est entendu que cette optimisation de la radioprotection s'insère dans le cadre des deux autres principes du système de limitation de la dose de la CIPR dont il a été question à la section 2, soit la justification de la pratique et la limitation des doses individuelles. La CIPR a reconnu explicitement (ICRP 37, Introduction) que ces principes sont "*nécessairement reliés*", et la relation (ou les rôles), particulièrement entre la justification et l'optimisation, a été analysée dans un certain nombre de communications [16, 18].

4.1 Justification

La CIPR propose (CIPR 26, paragraphes 69-71), en rapport avec la justification, que "*L'idéal serait que la possibilité d'accepter une proposition d'opération ou de pratique entraînant une exposition aux rayonnements soit déterminée par une analyse coût-avantages, permettant de s'assurer que le détriment total sera suffisamment faible par rapport aux avantages résultant de la mise en oeuvre de l'activité proposée ... Dans l'analyse coût-avantages, on entend par avantages l'ensemble des avantages recueillis par la société*", et, "*On considère d'autre part que le coût comprend la somme totale de tous les aspects négatifs d'une opération, ...*". La CIPR a reconnu qu'il peut être difficile de quantifier tous les coûts et les avantages et d'équilibrer leur répartition et leurs répercussions dans l'ensemble de la population, de sorte qu'un jugement de valeur subjectif sera nécessaire pour la prise de décisions d'acceptabilité. Lindell [16] et l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire [18] ont cherché à déterminer de qui devrait relever la prise de décisions. Dans la plupart des cas, l'organisme de réglementation n'est pas chargé de la prise de décisions concernant la justification.

4.2 Optimisation (ALARA)

La CIPR fait de plus remarquer (CIPR 26, paragraphes 72-74), en rapport avec l'optimisation de la radioprotection, qu'"*Un grand nombre des facteurs [considérés dans le processus de justification] ne seront pas indispensables pour décider ce qui peut être raisonnablement obtenu comme réduction des doses au-dessous des limites recommandées ... Lorsqu'on fait cette détermination, l'analyse coût-avantages passe de la considération du bénéfice total de l'activité à celle de la variation de bénéfice net qu'impliquerait l'obligation d'exercer cette activité à un niveau de dose plutôt qu'à un autre. ... Le bénéfice net sera optimal lorsque ... l'augmentation de coût de la protection par unité d'équivalent de dose compense la réduction [en coût] de détriment par unité d'équivalent de dose*".

D'après une hypothèse fondamentale de la radioprotection, il existe une proportionnalité entre la dose collective et la production d'effets stochastiques[3] sans seuil, sur la santé. Par conséquent, en théorie, on peut réduire continuellement le risque dû aux rayonnements en augmentant le niveau de radioprotection. L'expérience révèle cependant que les coûts liés à la sûreté suivent une loi des rendements décroissants, comme le montre la courbe X de la figure 1. À mesure que le niveau de radioprotection augmente (et que la dose collective diminue), les coûts marginaux des réductions additionnelles de la dose collective augmentent et tendent finalement à devenir prohibitifs. Des limites raisonnables doivent être imposées sur les dépenses de cette nature. Le concept d'une dose 'de minimis'[4] ou dose insignifiante est sérieusement étudié par de

---

[3]Les effets "stochastiques" sur la santé sont les effets dont la probabilité de manifestation est une fonction de la dose et ils comprennent les cancers et les lésions héréditaires. Aux niveaux de dose inférieurs aux limites de dose, les effets nuisibles non stochastiques sont exclus.

[4]"de minimis" : d'après l'expression latine "de minimis non curat lex", qui peut se traduire librement par "la loi ne s'occupe pas des affaires de minime importance".

nombreux organismes de réglementation nationaux et a fait l'objet d'un autre rapport [19] du CCSN et du CCRP. En principe, il n'existe pas de dose *de minimis* en ce qui concerne l'application du concept ALARA étant donné que même une très faible réduction de la dose est justifiable si le coût est assez bas. Cependant, dans de nombreuses situations pratiques, il est peu probable qu'il soit rentable de consacrer des efforts en vue de réduire les faibles doses au-dessous des niveaux *de minimis*.

Il est plus complexe de déterminer l'accroissement des avantages (diminution du détriment) qui accompagne la diminution de la dose collective. Comme on suppose que la probabilité des effets stochastiques sur la santé est linéairement proportionnelle à la dose collective, on considère aussi que la fraction du détriment attribuable aux effets stochastiques est une fonction linéaire de la dose collective. Si un coût Y peut lui être attribué en fonction de la dose collective, la relation peut être représentée sur la figure 1 par une ligne droite.

Bien qu'elle ne représente pas tous les éléments du détriment dont il faut tenir compte pour en venir finalement à une décision (comme l'aspect esthétique, les relations publiques, l'efficacité des procédés, la viabilité économique, etc.), la figure 1 peut servir de base pour représenter l'aspect de la radioprotection seul.

L'abscisse de la figure 1, la dose collective exprimée en personne-sieverts (personne-Sv), ne reflète pas comment la dose collective est distribuée parmi des groupes d'individus. Les doses peuvent être reçues à des niveaux très variés et cette non-uniformité peut être un problème ou un facteur si certains groupes professionnels ont reçu des doses collectives beaucoup plus élevées que d'autres groupes. Un problème pourrait aussi être créé si les doses collectives à la population devaient être réduites au prix de doses collectives accrues aux travailleurs, ou vice versa. Une fois de plus, ce sont les facteurs dont il faut tenir compte dans la prise de décisions. La pente de la courbe X à n'importe quelle valeur de la dose collective représente l'accroissement du coût de la radioprotection par unité de dose collective, souvent appelé le "coût marginal de réduction de la dose" (CMRD). La pente de la courbe Y représente la réduction du coût du détriment pour la santé par unité de dose collective, désignée par alpha (α). Une condition optimale est réalisée lorsque les valeurs absolues des paramètres CMRD et α sont égales.

Bien que cette méthode d'optimisation de la radioprotection semble simple, en pratique, seul le coût des améliorations de la radioprotection peut être connu avec une grande certitude. L'estimation de la réduction de la dose collective (particulièrement pour le public) et l'estimation des coûts de la réduction du détriment pour la santé présentent une bien moins grande certitude à cause de l'absence de données pertinentes relatives aux coûts liés à la santé et d'un désaccord sur des questions comme la population à risque, la période de temps à considérer dans la sommation des apports individuels à la dose collective et la plus basse limite de dose individuelle. Ces questions sont examinées en détail plus loin.

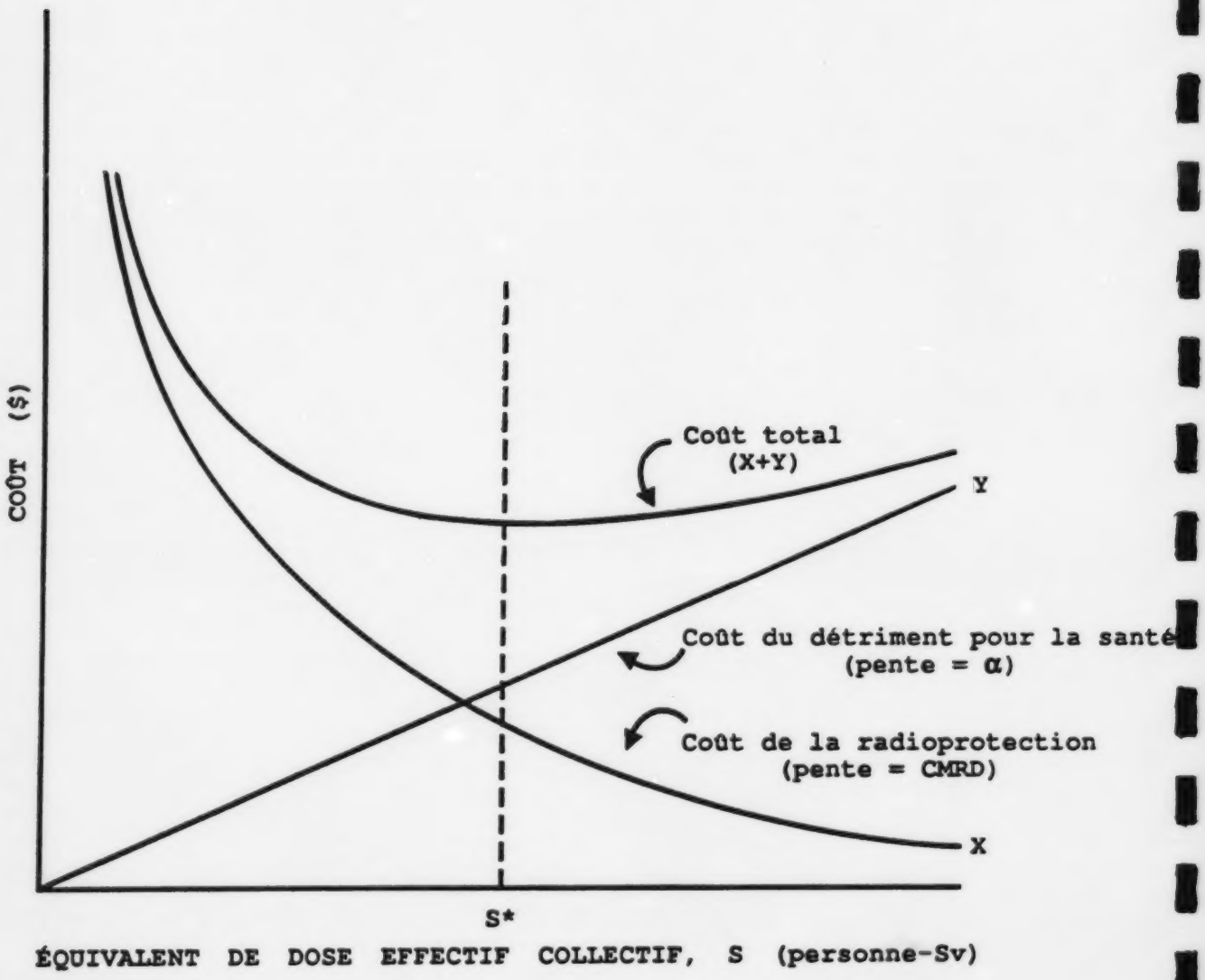

Fig. 1. Représentation du coût de la radioprotection (X), du coût du détriment pour la santé (Y) et du coût total (X+Y) en fonction de l'équivalent de dose effectif collectif (S). Le coût total minimal correspond à la valeur S* de l'équivalent de dose effectif collectif à laquelle les grandeurs des pentes α et CMRD sont égales.

On a fait remarquer dans les paragraphes précédents que l'utilisation de cette analyse coûts-bénéfices en tant que méthode d'optimisation destinée à fournir des données pour le processus de prise de décision concernant le concept ALARA nécessite une évaluation des coûts du détriment pour la santé. Un certain nombre d'approches pour l'évaluation des coûts du détriment pour la santé ont été proposées et sont étudiées à la section 6, mais il n'y a pas d'unanimité pour le moment quant à l'évaluation de ces coûts et à la valeur attribuée à alpha. Cependant, il est possible d'évaluer les coûts des propositions d'amélioration de la radioprotection et de fournir des informations détaillées (voir l'annexe) sur les dépenses liées à la sûreté dans de nombreux secteurs de l'industrie et de la société. Ces informations doivent être fournies en tant qu'outil aux décideurs qui cherchent à établir un équilibre approprié entre, d'une part, les avantages liés à la réduction des doses de rayonnement et des autres risques pour la santé et, d'autre part, les coûts liés à ces réductions.

4.3 Optimisation de tous les risques et avantages

Les industries et l'utilisation de technologies qui peuvent entrainer une exposition des travailleurs et du public aux risques dus aux rayonnements ionisants comportent invariablement des risques non-radiologiques qui s'y rattachent. Les radiologistes d'hôpitaux et les techniciens en radiologie sont exposés aux infections biologiques; les radiographes industriels peuvent être exposés aux risques présents sur un chantier de construction ainsi qu'aux risques dus à leur matériel d'inspection; de même, les mineurs d'uranium peuvent être exposés à une grande variété de risques dus aux émanations des moteurs diesel, à la machinerie tournante lourde, aux éboulements de roche, etc., ainsi qu'aux risques radiologiques présents dans leur milieu de travail. Dans l'étude d'optimisation pour ces industries, il faut tenir compte de ces risques non-radiologiques. Les objectifs visés par la prise en considération de tous les risques sont de réduire le risque total dû à toutes les causes et d'utiliser le plus efficacement possible les sommes consacrées à la protection de la santé [20, 21, 9].

Les risques pour le public sont généralement associés aux effluents industriels, à l'évacuation des déchets et au transport des substances, aussi bien radioactives que non-radioactives. Ces risques sont partiellement reflétés dans le coût des produits et dans les dépenses publiques visant à améliorer la sécurité, tel qu'indiqué dans l'annexe.

L'optimisation, dans ce contexte plus vaste, doit viser à réduire tous les risques, qu'ils soient radiologiques ou non-radiologiques.

5. FACTEURS ASSOCIÉS À L'ESTIMATION DE LA DOSE

Dans la section précédente, on a traité des rôles joués par le coût de la réduction de la dose et le détriment pour la santé dans le processus de détermination des sommes à consacrer en vue de réduire les doses au-dessous des limites prévues dans la réglementation. L'estimation des doses de rayonnements évitées par l'introduction de méthodes de contrôle est essentielle pour l'application de ces concepts. La quantité qui est souvent utilisée pour exprimer les doses de rayonnements en rapport avec le détriment pour la santé dû aux rayonnements ionisants est l'engagement d'équivalent de dose effectif collectif

(EEDEC) (voir AEN 80, paragraphes 52-58) [22]. Pour estimer cette quantité dans un cas particulier, il faut connaître les débits de dose individuelle et la (les) population(s) exposée(s) durant la période où les doses seront reçues.

Dans le cas des radionucléides qui peuvent présenter un danger, l'objectif idéal d'une méthode de contrôle est l'isolation complète du nucléide et de son rayonnement. Si l'isolation est efficace à 100 %, pendant une période beaucoup plus longue que la durée de vie radioactive[5], la dose évitée est l'EEDEC complet basé sur la population exposée en l'absence du contrôle. Lorsque l'isolation est efficace seulement pendant une période courte par comparaison à la durée de vie radioactive, ou qu'elle a une efficacité un peu inférieure à 100 pour cent, une certaine dose collective peut être reçue. Dans tous les cas, l'estimation de la dose évitée comporte habituellement une incertitude.

Lorsque les doses sont reçues sur de courtes périodes et par des populations bien définies, comme dans une salle de radiographie d'un hôpital ou dans une installation nucléaire, l'incertitude sur la réduction de la dose collective résultant d'une modification de la méthode est faible. Cependant, dans le cas du rejet possible de radionucléides dans l'environnement, sur une période courte ou longue, les populations exposées et les débits de doses peuvent seulement être estimés. Les estimations doivent tenir compte des voies par lesquelles les nucléides atteignent le public et des modifications pouvant se produire pendant la période au cours de laquelle les doses sont importantes. Ni le comportement dans l'environnement ni les populations exposées sur de longues périodes ne peuvent être prévus avec certitude. De plus, la dose engagée est probablement due à de très faibles doses individuelles lorsque les nucléides sont largement dispersés. Tel que mentionné dans le rapport AC-1 [19, section 6], *"Le recours à l'engagement de dose dans de telles circonstances est douteux à cause des grandes incertitudes qui existent [pour] estimer les doses qui seront reçues dans un avenir éloigné"*. De plus, les progrès réalisés en médecine pourraient bien contribuer à réduire les effets nuisibles de ces doses dans le futur, bien que des coûts puissent être associés à cette réduction. Les progrès réalisés dans les domaines de la science médicale et du génie de la santé publique au cours des 100 dernières années se sont traduits par une diminution radicale de la souffrance et du nombre de morts attribuables à la plupart des maladies infectieuses. Il est dans une certaine mesure probable que les progrès de la médecine permettent aussi de diminuer la souffrance et le nombre de morts prématurées attribuables aux affections malignes. Il est aussi concevable que le risque somatique de mort due à l'exposition aux rayonnements ionisants tende vers zéro. Les conséquences pratiques de ces conditions sont approfondies dans la prochaine section, qui porte sur l'estimation des coûts associés aux réductions des doses et au détriment pour la santé. Cependant, étant donné l'importance discutable de la dose engagée déterminée par intégration à très long terme, il faut de toute évidence faire preuve d'un certain jugement quant à son utilisation dans l'évaluation de l'efficacité en fonction des coûts.

En partant de l'hypothèse selon laquelle les débits de dose au public résultant de l'application de méthodes conformes à la réglementation sont habituellement bien inférieures aux limites légales, le potentiel de réduction efficace en

---

[5]"durée de vie radioactive" : temps au-delà duquel toute radioactivité résiduelle du radionucléide est considérée négligeable.

fonction des coûts de la dose collective par l'introduction d'autres contrôles dépendra de l'importance de la population exposée. L'échelle de dispersion, locale, régionale ou globale, des nucléides devient un facteur important.

Lorsque la dispersion est locale ou même régionale et que la durée de vie radioactive est relativement courte, le calcul de la dose engagée évitée ne devrait pas comporter une grande incertitude. Cependant, lorsque la durée de vie radioactive est longue, des modèles élaborés et des calculs de l'exposition à très long terme ne semblent pas justifiés en raison du niveau élevé d'incertitude que comportent les résultats et de la faible dose engagée qui pourrait être évitée.

Quant aux nucléides qui deviennent largement dispersés, le nombre est limité. Dans la publication AEN 77 [23], quatre nucléides contenus dans des effluents d'installations nucléaires et *"particulièrement susceptibles de contribuer d'une façon appréciable à l'exposition de vastes ensembles de population"* sont identifiés.

Ce sont le tritium, le carbone 14, le krypton 85 et l'iode 129. Bien que les deux premiers puissent être rejetés au cours de l'exploitation des réacteurs, les rejets importants de krypton 85 et d'iode 129 ne sont normalement possibles que pendant le retraitement du combustible. Ces nucléides peuvent cependant être rejetés lors d'un accident grave. La publication AEN 80 [22] contient des lignes directrices et des informations sur les méthodes de gestion de ces nucléides.

La préoccupation concernant les engagements de dose collectifs résultant de doses individuelles très faibles reçues par de grandes populations découle de l'hypothèse conservatrice d'absence de seuil, qui est basée sur une relation linéaire. Cette hypothèse fait présentement l'objet d'une révision critique par les milieux de la radioprotection et de la radiobiologie [24, 25]. Si l'hypothèse d'absence de seuil basée sur une relation linéaire est acceptée, le détriment dû à un engagement de dose collectif donné est considéré comme étant le même qu'il résulte de l'addition de petites doses reçues par une grande population ou de doses élevées (mais ne présentant pas une menace immédiate pour la vie) reçues par une petite population. Cependant, le taux de risque individuel moyen des personnes exposées de la population serait différent dans chaque cas. Étant donné que le risque individuel relatif est indépendant de l'importance de la population et qu'il serait d'environ $1,5 \times 10^{-6}$ sur une durée de vie de 75 ans si le débit d'équivalent de dose effectif individuel était de 1 microSv/a, une grande partie des difficultés conceptuelles et pratiques pourraient être éliminées si une limite plus faible, 1 microSv/a, était adoptée pour le calcul de l'EEDEC. Cette limite plus faible tient compte des apports possibles d'un certain nombre de sources.

Dans les sections précédentes, l'incertitude liée aux estimations des doses à très long terme et la possibilité que la science médicale trouve un remède aux différentes formes de cancers susceptibles d'être causés par l'exposition aux rayonnements ionisants ont été identifiées. Pour ces raisons, il a été proposé de réduire l'influence des doses reçues par les populations futures, et des méthodes de réduction élaborées ont été proposées [26, 27]. Les comités considèrent qu'on peut réduire l'influence de ces doses dans une certaine mesure mais qu'en raison des incertitudes concernant les estimations de dose collective

future, il est peu justifié de s'attarder à définir une approche minitieuse à adopter sur cette question. Il est recommandé d'adopter une position arbitraire simple, par exemple d'ignorer complètement toutes les doses qui seront reçues dans plus de 1000 ans à partir de maintenant. Cependant, si cette recommandation n'est pas jugée acceptable, la décision concernant la nature exacte de la réduction doit être prise dans le cadre du 'processus ALARA', décrit à la section 7.

6. ESTIMATION DES COÛTS LIÉS AU DÉTRIMENT POUR LA SANTÉ ET AUX AMÉLIORATIONS DE LA SÉCURITÉ

6.1 Estimation des coûts liés au détriment pour la santé

Le coût monétaire des effets sur la santé associé à l'unité de dose collective (alpha), en $/personne-Sv, est requis dans la méthode d'optimisation décrite à la section 4 du présent rapport. Bien que le nombre de cancers mortels et de tares génétiques liés à une dose collective puisse être estimé, l'attribution d'un coût aux effets de la dose est plus discutable. Les démarches visant à estimer le coût que représente une fatalité pour la société sont souvent perçues comme des démarches visant à attribuer une valeur à la vie humaine, ce qui suscite des difficultés conceptuelles et philosophiques.

En dépit des difficultés, un certain nombre de démarches ont été entreprises en vue d'évaluer le coût d'une fatalité pour la société. Par exemple, une importante entreprise canadienne de services publics a estimé que, dans un contexte particulier, les coûts objectifs d'une fatalité peuvent s'élever jusqu'à 650 000 $ [28]. De nouveau, dans une vaste étude, Graham et Vaupel [29] ont comparé plusieurs démarches de cette nature en considérant deux approches : l'approche "capital humain", basée en grande partie sur la valeur des salaires non gagnés en raison d'une mort prématurée, et l'approche "disposition à payer", dans laquelle on estime le montant que les gens sont disposés à payer afin de réduire la probabilité de mort prématurée. Ils constatent que dans les études basées sur la "disposition à payer" la "valeur d'une vie" est estimée entre 50 000 $ et 8 000 000 $ (dollars US de 1978). En combinant ces valeurs avec le facteur de risque de tares génétiques et de cancers totaux (2×10^{-2}/ personne-Sv), la plage correspondante de valeurs de dose collective unitaire est comprise entre 1 000 $ et 160 000 $ par personne-Sv. L'attribution d'un coût au détriment pour la santé et par conséquent d'un coût à l'unité de dose collective devient encore plus complexe lorsqu'on tient compte d'autres éléments du détriment mentionnés à la section 4.2, ce qui nous amène à nous interroger sur l'utilité de ce concept dans les méthodes d'optimisation officielles, comme nous l'avons déjà mentionné.

6.2 Estimation des coûts liés aux améliorations de la sécurité

Dans la mesure où une estimation raisonnable de la dose collective évitée à la suite de l'application d'une mesure visant à améliorer la sécurité peut être faite et où le coût de l'amélioration peut être estimé, il est possible de calculer le coût marginal de réduction de la dose. (Dans certaines publications, cette quantité est appelée l'efficacité en fonction du coût [18]). Les valeurs liées à certaines méthodes de réduction de la dose engagée collective pour une installation de retraitement du combustible de référence sont données dans la

publication AEN 80 [22] et sont reproduites dans le tableau 2 du présent rapport. Les valeurs correspondantes du coût de la préservation d'une vie ont été déduites à l'aide du facteur de risque pour la dose de rayonnement de la section 6.1 et elles sont aussi présentées au tableau 2.

À titre de comparaison, il est intéressant d'examiner les sommes consacrées aux améliorations de la sécurié en vue de préserver des vies dans d'autres contextes. On présente dans l'annexe une liste des sommes de cette nature. On y montre aussi les valeurs équivalentes du CMRD basées sur un facteur de risque de 2×10^{-2} cancers mortels et tares génétiques graves par personne-Sv de dose. Il ne faut cependant pas oublier que certaines de ces sommes par unité de bénéfice pour la santé ou la sécurité ont été déterminées après coup, c.-à-d. que les décisions concernant leur affectation ont été prises avant que l'ampleur du bénéfice pour la santé ou pour la sécurité ait été connue.

Des données de cette nature pourraient servir à déterminer la distribution optimale des ressources dans différentes industries. Bien qu'ils reconnaissent les difficultés énormes que présente une redistribution des ressources dans les industries, les comités estiment qu'une meilleure distribution des ressources liées à la sûreté au sein d'une industrie donnée est généralement possible et devrait être visée. Les travaux de Siddall et d'autres chercheurs au Canada ont permis une meilleure compréhension de cet aspect de l'affectation des ressources liées à la sécurité [30].

TABLEAU 2

Estimation de l'efficacité en fonction des coûts
et du coût par vie préservée pour quelques méthodes de
réduction de la dose engagée collective par stockage ou évacuation

NUCLÉIDE	FORME DE RÉSIDU	CMRD OU EFFICACITÉ EN FONCTION DES COÛTS* ($/PERSONNE-Sv)	COÛT PAR VIE PRÉSERVÉE ($)
Tritium	- dans le ciment	2.8×10^{4}	1.4×10^{6}
	- dans l'hydrure de zirconium	20 - 200	10^{3} - 10^{4}
C-14	- sous forme de $CaCo_3$ dans le ciment	6×10^{-2}	3
I-129	- dans la zéolite argentifère	5.5×10^{3}	2.7×10^{5}

* Valeurs prises du AEN 80 [22] sont en U.S. $ circa 1978.

Dans le contexte de la radioprotection et de l'application du concept ALARA, des données comme celles du tableau 2 et de l'annexe sont des informations nécessaires pour les responsables du processus. Une distinction doit être faite entre la planification de programmes de sécurité destinés à réduire la probabilité d'une mort prématurée et les mesures prises en vue de sauver un individu donné dans des circonstances particulières. Dans le domaine de la recherche et du sauvetage, par exemple, le coût de la mise en oeuvre d'une opération efficace ne constitue pas habituellement un problème immédiat bien qu'il puisse devenir un facteur dans la détermination de la durée de la recherche.

6.3 Prise de décisions concernant les dépenses en matière d'améliorations de la sécurité

Dans une industrie ou une activité particulière, les décisions de gestion destinées à réduire d'avantage les doses radiologiques professionnelles au-dessous des limites de la réglementation peuvent être fondées en grande partie sur la réduction des coûts liés au détriment pour la santé et à la radioprotection combinés, tel que mentionné à la section 4.2 qui précède. Cependant, les décisions peuvent aussi être fondées sur des aspects plus étendus et des avantages indirects. Une société qui met en application une nouvelle technologie peut être prête à imposer un niveau de protection plus sévère que le niveau défini en fonction de l'optimum financier dans le but de faire accepter la technologie par le public. D'autre part, des dépenses inférieures aux dépenses basées simplement sur l'optimisation des coûts liés à la protection et au détriment peuvent être acceptables pour les responsables, y compris les travailleurs, si les coûts liés à la réalisation d'un optimum sont élevés au point qu'une société doive fermer ses portes, ce qui se traduirait par un nombre élevé de mises à pied. Il semble n'exister aucune réponse normative simple à la question suivante : quelle somme additionnelle devrait-on consacrer à l'amélioration de la sécurité? Les dépenses liées à la sécurité doivent être envisagées du point de vue de ce qui est raisonnable dans un contexte particulier, compte tenu d'un grand nombre de facteurs.

7. ALARA EN TANT QUE PROCESSUS

Suite aux délibérations précédentes, les comités ont conclu qu'il est impossible de prescrire à l'avance des normes numériques de niveaux de dose ALARA pour des applications particulières, comme l'exploitation de réacteurs ou l'exploitation minière. Il est également impossbile de décrire des techniques qui mèneront automatiquement à un niveau approprié de radioprotection. De telles techniques, tout comme beaucoup d'autres informations disponibles, ne sont que des outils dans la prise de décision. Chaque fois que des aspects économiques et sociaux importants sont en cause (un grand nombre d'entre eux ne sont pas quantifiables), les personnes touchées par les décisions doivent normalement participer au processus. Dans certains cas, la participation peut être directe, par exemple dans l'établissement d'un lieu de travail, mais, dans certaines situations, un organisme de réglementation gouvernemental peut être appelé à agir au nom du public étant donné qu'il est évidemment impossible pour le public à participer dans chaque décision concernant l'application du processus ALARA.

Le processus de décision concernant la mesure dans laquelle les doses doivent

être réduites au-dessous des limites prévues dans la réglementation est complexe et doit être considéré dans une large perspective. Comme les détails d'un processus ALARA varient selon les circonstances, il est difficile d'établir une approche normative qui soit généralement applicable. Toutefois, le processus ALARA proposé par chaque requérant de permis doit comprendre les éléments suivants :

- l'identification et la prise en considération des niveaux et de la distribution des risques radiologiques et non-radiologiques existants;

- l'identification des personnes affectées;

- la détermination des coûts marginaux de réduction de la dose (CMRD) associés aux méthodes de rechange pour la réduction de la dose et toute information concernant les coûts marginaux liés à d'autres améliorations comparables de la sécurité (comme dans l'annexe);

- une description du contexte dans lequel les décisions doivent être prises, y compris tous les facteurs sociaux et économiques et leur pertinence dans le contexte particulier; et

- une description du processus de prise de décision; la façon dont les personnes affectées auront un apport dans le processus et participeront à la décision finale (dans le cas d'une population qui est de toute évidence affectée, la CCEA devrait jouer un rôle de chef de file afin d'assurer cet apport et cette participation).

La réduction de dose réalisable par une amélioration et les coûts qui s'y rattachent doivent être déterminés en vue d'établir le CMRD, chaque fois qu'il est possible de le faire. Il est instructif de convertir le CMRD en un coût marginal de réduction du risque du point de vue des effets graves sur la santé qui sont évités, ou de l'accroissement de l'espérance de vie, ou d'une autre unité de comparaison appropriée. Ces coûts marginaux devraient être comparés aux coûts des améliorations de la sécurité dans d'autres secteurs, comme ceux présentés dans l'annexe, tel que proposé à la section 6.2. L'utilisation des valeurs de l'annexe pose un problème du fait qu'elles couvrent une plage très étendue. Par conséquent, toute valeur ou plage de valeurs particulière choisie pour fins de comparaison avec les dépenses liées à la radioprotection doit être accompagnée d'explications appropriées.

8. APPLICATION DU PROCESSUS ALARA

8.1 Domaine d'application

(traduction libre)
"L'optimisation de la protection est un concept d'application très vaste. Elle peut être utilisée à tous les niveaux, allant des simples prises de décision au jour le jour aux importantes analyses de différents types de centrales, et elle devrait être appliquée à tous les aspects de la radioprotection, y compris l'utilisation des rayonnements à des fins de diagnostic médical, la réduction des expositions aux rayonnements naturels et la réduction des expositions dans l'industrie générale, ainsi que dans

le domaine de l'industrie nucléaire, lequel est mieux connu du public."[9]

L'application d'une exigence ALARA dans le règlement de la CCEA touchera tous les détenteurs de permis, que ce soient les détenteurs des quelque 4500 autorisations émises pour l'utilisation de substances radioactives ou les détenteurs des permis émis pour l'exploitation d'importantes installations nucléaires. L'ampleur des efforts requis de la part de chaque titulaire de permis pour maintenir les doses au "niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre" variera grandement. Lorsque les doses de rayonnement sont faibles, et tendent vers les niveaux ***de minimis***, une brève analyse peut très bien démontrer que toute dépense additionnelle en vue de réduire la dose est une allocation inadéquate des ressources. D'autre part, on peut s'attendre à ce que des analyses approfondies soient effectuées dans le cas des installations importantes et complexes. Dans tous les cas, la réduction des risques non radiologiques devrait aussi être prise en considération dans l'allocation des ressources.

Le processus ALARA devrait être applicable aux situations dans lesquelles les travailleurs ou le public peuvent être exposés aux rayonnements à la suite de l'utilisation ou de l'évacuation de matières radioactives, ou de l'exploitation ou du déclassement d'une installation nucléaire, y compris les perturbations de systèmes et les anomalies de fonctionnement qui peuvent se produire plusieurs fois pendant la durée de vie de l'installation.

Le processus ALARA ne doit cependant pas être appliqué aux accidents plus graves envisagés, par exemple, dans le cadre de l'analyse de sûreté d'une centrale nucléaire. Afin que le risque créé par le rejet de substances radioactives ou de gaz nocifs attribuable à ces accidents soit assez faible pour être acceptable, la CCEA exige l'installation d'un réseau de dispositifs spéciaux de sécurité très fiable; elle exige aussi que les systèmes de procédés principaux satisfassent aux objectifs de fiabilité prescrits. L'approche déterministe exclut l'utilisation d'un processus ALARA dans l'établissement de objectifs en matière de risque. (Il est au-delà de la portée du présent rapport de déterminer si la CCEA doit éliminer ou non ces exigences déterministes et autoriser l'application d'un processus ALARA conjointement à des méthodes modernes d'évaluation probabiliste de la sûreté (ÉPS) dans l'établissement des objectifs en matière de risque.) La remise en état à la suite d'un accident, toutefois, doit être soumise à un processus ALARA.

8.2 Application au stade de la conception

Idéalement, au stade de la conception d'un projet, l'application du processus ALARA à l'équipement ou aux procédures qui peuvent constituer une source de doses pour les travailleurs et le public en cours d'utilisation normale ou d'évacuation subséquente comprend une comparaison de différentes options de conception pour l'équipement ou des procédures. Les options de conception devraient offrir des niveaux croissants de radioprotection. Les valeurs du CMRD rattachées aux améliorations peuvent alors être estimées, et on peut prendre une décision concernant le niveau approprié de protection, compte tenu des facteurs sociaux et économiques et des autres risques non radiologiques associés au projet.

Ce processus idéal pourrait se traduire par des coûts de conception excessifs pour un projet nouveau. Cependant, lorsqu'il existe déjà un bassin considérable

d'expérience et de connaissance en matière de doses collectives et de risques non radiologiques pour des projets similaires, le nombre d'options de conception à considérer est grandement réduit. Le processus ALARA doit alors tenir compte des réalisations passées et des possibilités de réduction de la dose et des autres risques.

8.3 Application en cours d'exploitation

L'optimisation de la radioprotection en cours d'exploitation doit reposer sur les mêmes principes généraux qu'au stade de la conception. Les efforts consacrés à la réduction de la dose une fois la phase de conception d'un projet terminée ont généralement une moins grande efficacité en fonction des coûts; des améliorations importantes peuvent néanmoins être réalisées pendant la phase d'exploitation.

Afin de prendre des décisions ALARA applicable au personnel d'exploitation, il est important d'effectuer la dosimétrie, c.-à-d. identifier les substances, le matériel ou les opérations qui constituent les sources de dose collective. La dose collective reçue devrait aussi être identifiée par groupe professionnel et unité organisationnelle, s'il y a lieu. Des modifications des méthodes d'exploitation ou de la conception peuvent alors être prises en considération. L'équipement ou les opérations qui constituent les sources de dose la plus élevée sont habituellement les éléments pour lesquels on obtient le rendement optimal de réduction de la dose pour les ressources engagées.

Les options d'amélioration disponibles devraient être étudiées, en commençant par l'option qui présente le CMRD le plus bas. Bien que la dose collective représente le principal objectif du processus ALARA, il faut tenir compte adéquatement des niveaux de dose individuelle étant donné que l'exposition continue d'un travailleur ou d'un petit groupe de travailleurs à des doses égales aux limites annuelles ou voisines de celles-ci n'est pas acceptable. La réduction des niveaux de dose individuelle par une répartition sur une plus grande population n'est pas acceptable non plus. D'autres compromis entre les groupes professionnels, et entre les travailleurs et le public, tels qu'étudiés à la section 4.2, doivent aussi être pris en considération. Enfin, le compromis entre la réduction des risques radiologiques et des risques non radiologiques doit être pris en considération dans la prise de décisions concernant l'affectation de ressources limitées.

8.4 Application au stade du déclassement ou de l'évacuation

Le Comité consultatif de la sûreté nucléaire a préparé deux rapports sur ces questions :

> CCSN-12, "Principes généraux de déclassement des installations nucléaires", mars 1988. [31]
>
> CCSN-11, "Principes et lignes directrices pour les installations d'évacuation de déchets radioactifs", juin 1988. [32]

Les considérations relatives au concept ALARA occupent une place importante dans ces rapports, et le CCSN les propose comme guide au lecteur.

CONCLUSIONS

Cet examen du processus ALARA a été déclenché par l'introduction dans le projet de remaniement du Règlement de la Commission de contrôle de l'énergie atomique, d'une contrainte de dose de rayonnement du type ALARA.

Il faut faire une distinction entre "justification" (la décision d'appliquer une technologie particulière relative aux rayonnements) et "optimisation" (le processus utilisé pour déterminer les niveaux de dose optimaux au-dessous des limites prévues dans la réglementation). L'acronyme ALARA (basé sur l'expression anglaise "as low as reasonably achievable", c.-à-d. niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre) est maintenant utilisé pour décrire le processus d'optimisation. Tel que mentionné dans la publication ICRP-55 [9], "*Le rôle fondamental du concept d'optimisation de la protection est d'engendrer chez chaque personne responsable du contrôle des expositions aux rayonnements une façon de penser telle qu'elle se pose continuellement la question suivante : "Ai-je fait tout ce que je pouvais raisonnablement faire en vue de réduire ces doses de rayonnement?""* (traduction libre).

À l'origine, le processus ALARA aurait pu être envisagé comme un calcul financier destiné à quantifier le risque et à comparer le coût de ce risque au coût des mesures permettant de le limiter ou de l'éviter. Cependant, la description complète du processus ALARA comprend la partie qualitative suivante : "*compte tenu des facteurs sociaux et économiques*". Les comités en sont donc venus à considérer qu'un processus ALARA doit tenir compte entièrement des sommes à dépenser pour la sécurité dans un contexte particulier ainsi que du processus de prise de décision (décrit à la section 7).

Les comités considèrent également qu'un processus ALARA ne doit pas tenir compte uniquement des dangers dus aux rayonnements; il doit aussi tenir compte, dans chaque contexte, de la meilleure utilisation des ressources de la société et de l'industrie en vue de réduire chaque risque au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre lorsque tous les risques sont pris en considération.

Il existe à l'heure actuelle d'énormes incertitudes qui imposent des contraintes dans l'attribution des coûts à l'intérieur du processus ALARA. Ces incertitudes sont particulièrement importantes du point de vue du coût des doses de rayonnements en ce qui concerne la morbidité et la mortalité humaines. Cependant, une plage de valeurs peut être établie.

D'autres incertitudes concernent les estimations de la dose due aux radionucléides à vie longue et largement dispersés ainsi que la relation discutable entre ces doses, souvent trop faibles pour être mesurées, et le risque possible. Les comités estiment qu'il n'est pas raisonnable d'accorder une importance excessive à des doses de rayonnement minimes reçues sur une longue période, étant donné les incertitudes que présentent l'estimation réelle de la dose et la vérification des effets éventuels sur la santé des travailleurs et du public compte tenu des mesures de protection améliorées sur les plans médical et social.

Le processus ALARA est un processus continu, c.-à-d. qu'il s'applique à la conception et à l'exploitation d'un dispositif à radioisotope, d'une installation, d'un laboratoire ou d'un service hospitalier. Des données fiables

sur les doses seront nécessaires pour valider les méthodes mises en application et à des fins d'assurance de la qualité et de vérification.

À mesure que les données concernant le risque dû au rayonnement et les coûts humains deviendront plus précis, le processus ALARA deviendra plus "objectif". Cependant, du point de vue décrit dans le présent rapport, l'"objectivité" fait simplement partie d'un plus vaste processus subjectif et nécessairement consultatif par lequel la société peut compter utiliser des ressources limitées le plus judicieusement et efficacement possible en vue d'assurer la santé des individus et de la collectivité.

10. RECOMMANDATIONS

Les comités recommandent l'application d'un processus ALARA qui facilite l'établissement de mesures de protection raisonnables. Ce processus doit comprendre les éléments suivants :

i) l'identification et la prise en considération des niveaux et de la distribution des risques radiologiques et non-radiologiques existants;

ii) l'identification des personnes affectées;

iii) la détermination des coûts marginaux de réduction de la dose (CMRD) liés aux méthodes de rechange pour la réduction de la dose et toute information concernant les coûts marginaux liés à d'autres améliorations comparables de la sécurité (comme dans l'annexe);

iv) une description du contexte dans lequel les décisions doivent être prises, y compris tous les facteurs sociaux et économiques et leur pertinence dans le contexte particulier; et

v) une description du processus de prise de décision; la façon dont les personnes affectées auront un apport dans le processus et participeront à la décision finale (dans le cas d'une population qui est de toute évidence affectée, la CCEA devrait jouer un rôle de chef de file afin d'assurer cet apport et cette participation).

Les comités reconnaissent qu'un processus ALARA beaucoup plus simple peut être suffisant pour fournir des solutions générales adéquates pour les utilisateurs de radionucléides.

Glossaire

"a" : année; "/a" : par année;

"ALARA" : principe de radioprotection en vertu duquel les doses de rayonnement sont maintenues au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de facteurs économiques et sociaux (sigle créé à partir de l'expression anglaise "as low as reasonably achievable");

"alpha (α)" : réduction du coût du détriment pour la santé par unité de dose collective;

"CCEA" : Commission de contrôle de l'énergie atomique;

"CCRP" : Comité consultatif de la radioprotection;

"CCSN" : Comité consultatif de la sûreté nucléaire;

"CIPR" : Commission internationale de protection radiologique;

"CMRD" : coût marginal de réduction de la dose;

"Comité consultatif de la sûreté nucléaire" (CCSN) : comité formé de scientifiques et d'ingénieurs nommés par la CCEA en vue de fournir, en tant que tiers, des conseils sur toute question concernant la sûreté nucléaire;

"Comité consultatif de la radioprotection" (CCRP) : comité formé de scientifiques et de spécialistes du domaine médical ou de la radioprotection nommés par la CCEA en vue de fournir, en tant que tiers, des conseils sur toute question concernant la "radioprotection";

"Commission de contrôle de l'énergie atomique" (CCEA) : organisme doté de la personnalité morale, créé en vertu de la Loi sur le contrôle de l'énergie atomique aux fins établies dans cette loi;

"Coût marginal de réduction de la dose (CMRD)" : accroissement du coût de la radioprotection par unité de réduction de la dose collective

"*de minimis*" : d'après l'expression latine "de minimis non curat lex", qui peut se traduire librement par "la loi ne s'occupe pas des affaires de minime importance";

"débit de dose" : dose par unité de temps;

"détriment pour la santé" : prévision mathématique du dommage résultant chez un groupe de personnes de l'exposition au rayonnement, qui tient compte de la probabilité des différents effets nuisibles et de leur gravité;

"détriment" : ensemble des aspects négatifs monétaires et non monétaires associés à l'exposition réelle ou potentielle au rayonnement;

"dose engagée" : dose totale reçue à partir de substances radioactives dans l'organisme au cours des 50 années qui suivent l'incorporation de ces substances;

"dose collective" : somme de toutes les doses individuelles reçues par toutes les personnes exposées à une source donnée de rayonnement; elle correspond aussi au produit de la dose moyenne reçue par un groupe de personnes exposées par le nombre de personnes du groupe; la dose collective s'exprime généralement en "personne-sievert";

"dose" : dans le présent rapport, la dose désigne l'"équivalent de dose effectif" et elle comprend la dose engagée reçue à partir de substances radioactives dans l'organisme;

"durée de vie radioactive" : temps au-delà duquel toute radioactivité résiduelle du radionucléide est considérée négligeable;

"EEDEC" : l'"engagement d'équivalent de dose effectif collectif" est l'engagement d'équivalent de dose effectif pour une population;

"effets stochastiques sur la santé" : effets sur la santé dont la probabilité de production est fonction de la dose, comprenant le cancer et les malformations héréditaires. Au-dessous des limites de dose, les effets non stochastiques sont exclus;

"effets génétiques" : malformations héréditaires transmises génétiquement d'un parent à un enfant et qui peuvent se manifester chez les enfants et les descendants des générations subséquentes d'un parent dont les gonades (ovaires ou testicules) ont été exposées à un rayonnement avant la conception des enfants;

"équivalent de dose" : "dose absorbée" multipliée par un "facteur de qualité" qui tient compte des différents risques de dommages associés à différents types de rayonnements, la dose absorbée étant le quotient de la quantité d'énergie absorbée dans l'organisme, un organe ou un tissu en raison de l'exposition à un rayonnement ionisant par la masse de l'organisme, de l'organe ou du tissu considéré; l'unité de dose absorbée est le joule par kilogramme et on lui donne le nom de gray (Gy); 1 Gy = 1 joule/kg (= 100 rads); un "gray" de dose absorbée multiplié par le facteur de qualité approprié donne des "sieverts" d'équivalent de dose;

"équivalent de dose effectif" : somme des "équivalents de dose pondérés" reçus par les organes et les tissus de l'organisme, l'équivalent de dose pondéré étant l'équivalent de dose reçu par un organe ou un tissu multiplié par un "facteur de pondération" qui permet de tenir compte du risque de cancer mortel ou de malformation héréditaire résultant de l'exposition de cet organe ou tissu par comparaison au risque total de ces effets résultant de l'exposition de l'organisme entier à un équivalent de dose égal;

"facteur de qualité" : voir "équivalent de dose";

"facteur de risque" : dans le présent rapport, désigne la probabilité de cancer mortel ou de dommages génétiques graves par unité de dose de rayonnement;

"gonades" : testicules chez l'homme et ovaires chez la femme;

"groupe critique" : groupe assez homogène de personnes qui, en raison de leur lieu d'habitation, leur âge, leurs habitudes, leur alimentation, etc., reçoivent

d'une source donnée (ou d'une combinaison donnée de sources) de rayonnement une dose moyenne supérieure à la dose moyenne reçue par un autre groupe exposé à la même source ou combinaison de sources;

"limite opérationnelle dérivée (LOD)" : limite applicable au taux d'émission d'une substance radioactive qui tient compte de manière prudente de toutes les voies par lesquelles la substance peut atteindre un membre du groupe critique, telle que si elle est respectée, on est raisonnablement assuré que la limite de dose pour le public prévue dans la réglementation n'est pas dépassée;

"Loi sur le contrôle de l'énergie atomique" : loi adoptée par le Parlement en 1946 en vue de pourvoir au contrôle et à la surveillance de l'exploitation et des applications et usages de l'énergie atomique et de permettre au Canada de participer d'une manière efficace aux mesures de contrôle international de l'énergie atomique;

"microSv" (μSv) : un millionième de sievert;

"milliSv" (mSv) : un millième de sievert;

"OCDE" : Organisation de coopération et de développement économiques, dont le siège social est à Paris (France);

"personne-sievert" : unité de "dose collective";

"personne-Sv" : personne-sievert;

"produits de filiation du radon" (produits de filiation du ^{222}Rn) : les substances radioactives à courte période suivantes, produites par une série de désintégrations radioactives à partir du radon 222 : polonium 218 (radium A), plomb 214 (radium B), bismuth 214 (radium C) et polonium 214 (radium C');

"produits de filiation du thoron" : (produits de filiation du ^{220}Rn) : substances radioactives à vie courte suivantes, produites par une série de désintégrations radioactives à partir du radon 220 : polonium 216 (thorium A), plomb 212 (thorium B), bismuth 212 (thorium C) et polonium 212 (thorium C');

"radioactif" : doué de radioactivité, c'est-à-dire de la propriété de subir une transformation nucléaire spontanée accompagnée de l'émission de rayonnement ionisant;

"radionucléide" : isotope radioactif d'un élément;

"radioprotection" (aussi protection radiologique) : science et pratique de l'évaluation des risques dus aux rayonnements, de même que de l'élaboration et de la promotion de l'utilisation des instruments, des vêtements protecteurs, des directives et des procédures nécessaires pour maintenir les doses de rayonnement en deçà des limites de dose et à des niveaux aussi bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre;

"radon" (^{222}Rn) : gaz radioactif produit par la désintégration radioactive du radium 226 (qui a été produit par une série d'étapes de désintégration radioactive à partir de l'uranium 238) et qui, par désintégration radioactive,

donne les "produits de filiation du radon";

"rayonnement ionisant" : voir "rayonnement";

"rayonnement" : rayonnement ionisant, c.-à-d. toute particule atomique ou subatomique ou toute onde électromagnétique possédant suffisamment d'énergie pour produire des ions (atomes ayant acquis une charge suite à la perte ou au gain d'électrons) dans la matière dans laquelle elle est absorbée; le rayonnement ionisant comprend les particules alpha et bêta, le rayonnement X et le rayonnement gamma, ainsi que les neutrons et certaines autres particules chargées;

"Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique" : règlement d'application de la Loi sur le contrôle de l'énergie atomique par la Commission de contrôle de l'énergie atomique;

"sievert" (Sv) : nom particulier de l'unité d'"équivalent de dose" et d'"équivalent de dose effectif" (1 Sv = 1000 mSv = 1 000 000 μSv); on fait référence au sievert dans la définition de l'expression "équivalent de dose" qui précède; (l'ancienne unité d'équivalent de dose était le rem, qui correspond à 0,01 Sv);

"source" : source de rayonnement ou activité produisant un rayonnement;

"Sv" : sievert;

"thoron" (^{220}Rn) : gaz radioactif produit par la désintégration radioactive du radium 224 (qui est produit par une série d'étapes de désintégration radioactive à partir du thorium 232) et qui, par désintégration radioactive, donne les "produits de filiation du thoron"

"unité alpha" (WL) : unité de concentration des produits de filiation du radon ou du thoron dans l'air exprimée en fonction de l'énergie potentielle alpha de la quantité de produits de filiation contenue dans un mètre cube ou un litre d'air; 1 WL = 2,08 x 10^{-5} joule par mètre cube = 1,3 x 10^{5} MeV par litre; (l'"énergie potentielle alpha" est l'énergie de toutes les particules alpha qui pourraient être émises au cours des étapes successives de la désintégration radioactive d'une quantité donnée de produits de filiation du radon en plomb 210 ou de produits de filiation du thoron en plomb 208);

Références

1. Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique 1978 et modifications 1979-1989 (Canada).

2. Document de consultation C-83, «Projet de remaniement du Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique», Commission de contrôle de l'énergie atomique, Ottawa, Canada, avril 28, 1986.

3. Editorial, U.K. NRPB Radiological Protection Bulletin No. 62, janvier 1985.

4. ICRP Publication 1, "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection". Pergamon Press, 1959.

5. ICRP Publication 9, "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection". Pergamon Press, 1966.

6. ICRP Publication 22, "Implications of Commission Recommendations that Doses be kept as Low as Readily Achievable". A report of ICRP Committee 4. Pergamon Press, 1973.

7. Publication CIPR 26, «Recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique», Pergamon Press, 1977.

8. ICRP Publication 37, "Cost-benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection". A report of ICRP Committee 4. Pergamon Press, 1983.

9. ICRP Publication 55, "Optimization and Decision-Making in Radiological Protection". A report of ICRP Committee 4. Pergamon Press, 1989.

10. W.D. Rowe, "An Anatomy of Risk", John Wiley & Sons, Inc. 1977, p. 78.

11. "Radiation Protection Regulations: Nuclear-Electric Generating Stations", Ontario Hydro, 700 University Avenue, Toronto, Ontario, Canada, 1962.

12. R.J. Atchison, F.C. Boyd and Z. Domaratzki, "Canadian Approach to Nuclear Power Safety". Nuclear Safety, Vol. 24, No. 4, July-August 1983, pp. 439-458.

13. Ontario Nuclear Safety Review, "A Scientific and Technical Review", Ontario Hydro, sec. 7.5.1, February 1988.

14. Règlement sur les mines d'uranium et de thorium, avril 1988 (Canada).

15. W.N. Sont and J.P. Ashmore, "Projected Whole Body Career Doses for Radiation Workers in Canada". Health Physics, Vol. 47, No. 5, pp. 693-700. November 1984.

16. B. Lindell, "Basic Concepts and Assumptions Behind the New ICRP Recommendations". Proceedings of a Seminar on Application of the Dose Limitation System for Radiation Protection, Vienna, Austria, 5-9 March 1979, pp. 3-19 (Paper No. IAEA-SR-36/51).

17. J. Lochard, "Optimization of Radiation Protection". Nuclear Safety, Vol. 22, No. 4, July-August 1981, pp. 484-490.

18. OECD Nuclear Energy Agency, "Technical Note: OECD Position Statements on Radiological Protection". Nuclear Safety, Vol. 24, No. 2, March-April 1983, pp. 239-242 (aussi appelé AEN 83).

19. CC-1, «Débits de dose de rayonnements *de minimis* recommandés au Canada». Comités consultatifs de la radioprotection et de la sûreté nucléaire. Novembre 1990. (CCEA INFO-0355 (F)).

20. CCRP-11, «Principes de radioprotection au Canada». Comité consultatif de la radioprotection. Mars 1990. (CCEA INFO-0340 (F)).

21. CCRP-12, «Risques radiologiques pour les travailleurs des mines d'uranium». Comité consultatif de la radioprotection, novembre 1990 (CCEA INFO-0352 (F)).

22. Rapport d'experts de l'Agence de l'OCDE pour l'Énergie Nucléaire, «Importance radiologique et gestion des radionucléides tritium, carbone 14, krypton 85 et iode 129, produits au cours du cycle du combustible nucléaire», 1980 (aussi appelé AEN 80).

23. Rapport d'experts de l'Agence de l'OCDE pour l'Énergie Nucléaire, «Objectifs, concepts et stratégies en matière de gestion des déchets radioactifs résultant des programmes nucléaires de puissance», 1977 (aussi appelé AEN 77).

24. Health Physics Society, "The Newsletter", Vol. XVI, No. 11, and Vol. XVII, No. 2.

25. UNSCEAR 1988, "Sources, Effects, and Risks of Ionizing Radiation", Nations-Unies, New York, 1988.

26. A.B. Fleishman, "The Significance of Small Doses of Radiation to Members of the Public", NRPB-R175, March 1985.

27. A.B. Fleishman and M.J. Clark, "Evaluating Future Detriment from Radioactive Discharges: Judgements and Implications for Optimisation of Protection", NRPB-R132, April 1982.

28. Ontario Hydro, "A Cost Model of Lineman Fatalities in Ontario Hydro", March 1981. (rapport interne préparé par K. Donnelly de Central Safety Services).

29. J. Graham and J. Vaupel, "Value of Life: What Difference Does It Make", Risk Analysis, Vol. 1, No. 1, January-March 1981, pp. 89-95.

30. E. Siddall, "Risk, Fear and Public Safety". L"Énergie Atomique du Canada Limitée, Chalk River, Ontario, 1981 (AECL-7404).

31. CCSN-12, «Principes généraux de déclassement des installations nucléaires». Comité consultatif de la sûreté nucléaire. Mars 1988 (CCEA INFO-0273).

32. CCSN-11, «Principes et lignes directrices pour les installations d'évacuation de déchets radioactifs». Juin 1988 (CCEA INFO-0294).

33. ICRP Publication 60, "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection". Pergamon Press, 1991.

Bibliographie supplémentaire

ALARA dans les universités :

Hams, S., "Exposure problems and ALARA in UK Universities". Health Physics, 1981: 41: 727-734.

ALARA dans les hôpitaux :

Brodsky, A., "Principles and practices for keeping occupational radiation exposures at medical institutions as low as reasonable achievable". U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C. NUREG-0267/Rev. 1, October 1982.

Gandsman, E., North, D., Tyson, I. "Update on radiation safety in a nuclear medicine department". Health Physics 1984: 46: 1293-1295.

Remerciements

Membres actuels et anciens membres du groupe de travail :

R. Wilson	(CCRP), président
E. Mastromatteo	(CCRP), ancien président
B.C. Lentle	(CCRP)
O.R. Lundell	(CCSN)
A. Pearson	(CCSN)
W.M. Walker	(CCSN), ancien membre
D. Holdsworth	(York University), ancien membre

Membres actuels et anciens membres du secrétariat :

R.J. Atchison
M.R. Avadhanula, ancien membre
F.C. Boyd, ancien membre
W.R. Bush, ancien membre
E. Daigle/P. Smith (dactylographie)

Tous les membres du Comité consultatif de la radioprotection et du Comité consultatif de la sûreté nucléaire.

ANNEXE

SOMMES AFFECTÉES POUR PRÉSERVER DES VIES
(en 1978 U.S. $)

DOMAINE NORMAL DE PROTECTION DE LA SANTÉ ET DE SÉCURITÉ*					RADIO-PROTECTION***
Cas de référence	Amélioration de la sécurité	Réf.	Coût additionnel net de l'amélioration de la sécurité**		Valeur équivalente du CMRD
			$ par vie-année préservée	$ par vie préservée	$ par personne-Sv de réduction
SÉCURITÉ ROUTIÈRE					
Statu quo	Ceintures passives obligatoires	[1]	$ 88	$ 3 600	$ 70
" "	" "	[2]	1 000	40 700	810
" "	Ceintures 3 points actives	[3]	516	21 000	420
Aucune ceinture	" "	[4]	2 300	94 000	1 900
Statu quo	Sacs gonflables obligatoires	[5]	538	13 000	260
" "	"	[4]	1 900	78 000	1 600
" "	"	[6]	2 800	117 000	2 300
" "	"	[3]	7 300	300 000	6 000
" "	"	[2]	10 000	408 000	8 200
Aucune ceinture	Sacs gonflables obligatoires avec ceintures sous-abdominales actives	[3]	4 000	162 000	3 200

* Les données présentées dans la colonne «Domaine normal de protection de la santé et de sécurité» sont tirées du mémoire "Value of Life: What Difference does it Make", de John Graham et James Vaupel, parue dans Risk Analysis, Vol. 1, n° 1 (1981), p. 89-95.

** Le «coût additionnel net de l'amélioration de la sécurité» ne comprend pas les dépenses encourues pour des avantages autres que la réduction de la mortalité.

*** On a obtenu la valeur équivalente du CMRD à des fins de radioprotection en multipliant le coût de la colonne précédente par le facteur de risque de 2×10^{-2} cancer mortel ou tare génétique grave par personne-Sv.

Cas de référence	Amélioration de la sécurité	Réf.	Coût additionnel net de l'amélioration de la sécurité		Valeur équivalente du CMRD
			$ par vie-année préservée	$ par vie préservée	$ par personne-Sv de réduction
Ceintures passives obligatoires	Sacs gonflables et ceintures passives obligatoires	[2]	$ 34 000	$ 1 400 000	$ 28 000
Sacs gonflables obligatoires	Sacs gonflables obligatoires et limite de 55 mi/h avec application complète	[5]	6 000	148 000	3 000
Statu quo avant l'application de la limite de 55 mi/h	Limite de 55 mi/h avec application partielle	[5]	1 900	64 000	1 300
" "	Limite de 55 mi/h avec application complète	[5]	2 500	59 000	1 200
Limite de 65 mi/h	Limite de 55 mi/h	[8]	12 000	500 000	10 000
Réservoir de carburant non fiable	Réservoir de carburant plus fiable	[9]	17 000	686 000	14 000
Statu quo	Programme de services médicaux	[10]	1 000	41 000	820
" "	Programme de protection contre la conduite en état d'ébriété	[10]	2 000	81 500	1 600
PROTECTION-INCENDIE	- Détecteurs de fumée (DF)				
Statu quo	DF obligatoires dans les chambres à coucher seulement	[11]	1 300	40 000	800
DF obligatoires dans les chambres à coucher seulement	DF obligatoires dans toutes les pièces	[11]	32 000	1 000 000	20 000

Cas de référence	Amélioration de la sécurité	Réf.	Coût additionnel net de l'amélioration de la sécurité		Valeur équivalente du CMRD
			$ par vie-année préservée	$ par vie préservée	$ par personne-Sv de réduction
Statu quo	DF d'avertissement de feu de mobilier obligatoires	[12]	$ 1 900	$ 60 000	$ 1 200
DF obligatoires	Normes d'inflammabilité pour le mobilier	[12]	12 900	400 000	8 000
SOINS DE LA SANTÉ					
Statu quo	Unité mobile de soins aux coronariens	[5]	1 800	15 000	300
" "	Programme de nutrition	[5]	6 500	102 000	2 000
Immunisation par vaccin anti-coquelucheux	Aucune immunisation (risque moindre)	[22]	4 200	300 000	6 000
Utilisation de la saccharine par le public	Interdiction de la saccharine	[23]	8 500	136 000	2 700
LUTTE CONTRE LA POLLUTION DE L'AIR					
Conditions antérieures à 1970	Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique de 1970, normes applicables aux sources fixes	[13]	2 300	30 000	600
" "	" "	[14]	3 800	50 000	1 000
" "	Normes applicables aux sources mobiles	[15]	105 000	1 350 000	27 000

Cas de référence	Amélioration de la sécurité	Réf.	Coût additionnel net de l'amélioration de la sécurité		Valeur équivalente du CMRD
			$ par vie-année préservée	$ par vie préservée	$ par personne-Sv de réduction
<u>Émissions de benzène</u>					
Aucune mesure de réduction	Réduction de 97%	[16]	$ 480 000	$ 7 600 000	$ 150 000
Réduction de 97%	Réduction de 99%	[16]	3 200 000	51 000 000	1 000 000
10 ppm	1 ppm	[24]	6 600 000	102 000 000	2 000 000
<u>Fours à coke</u>					
Statu quo	Norme OSHA* proposée	[17]	790 000	12 100 000	240 000
<u>LUTTE CONTRE LA POLLUTION DE L'EAU</u>					
<u>Carcinogènes dans l'eau</u>					
Statu quo	Règle du nmc 150**	[18]	240 000	3 900 000	78 000
Règle du nmc 150	Règle du nmc 100	[18]	240 000	3 800 000	76 000
Règle du nmc 100	Règle du nmc 50	[18]	390 000	6 300 000	130 000
<u>Acrylonitrile</u>					
Statu quo	2,0 ppm	[19]	230 000	3 520 000	70 000
2,0 ppm	1,0 ppm	[19]	1 900 000	28 800 000	580 000
1,0 ppm	0,2 ppm	[19]	11 000 000	169 200 000	3 400 000
<u>Arsenic</u>					
Règle du nmc 5	Règle du nmc 0,004	[20]	390 000	5 000 000	100 000
<u>Chlorure de vinyle</u>					
50 ppm	1 ppm	[21]	490 000	7 500 000	150 000

* OSHA - Occupational Safety and Health Administration (E.-U.)
** nmc - niveau maximal de contaminant

Références de l'annexe

1. Council on Wage and Price Stability, "Occupant Crash Protection Standard", Executive Office of the President, Washington, D.C. CWPS-244 pp. 1-24 (May 31, 1977).

2. R.J. Arnould et H. Grabowski, "Auto Safety Regulation: An analysis of Market Failure", Bell Journal of Economics, v 12, nl. pp. 27-48 (Spring '81).

3. H.P. Gates, Jr., "Review and Critique of NHTSA's Revised Restraint System Cost-Benefit Analysis", Fourth International Congress on Automotive Safety, pp. 209-233 (July 1975).

4. W.T. Coleman, Secretary of the Department of Transportation, "Benefit-Cost Analysis of Motor Vehicle Occupant Crash Protection", Federal Register, pp. 24078-24079 (June 14, 1976).

5. R. Zeckhauser et D. Shepard, "Where now for saving lives", Law and Contemporary Problems 40, No. 4 (Autumn 1976).

6. L.S. Robertson, "Car Crashes: Perceived vulnerability and willingness to pay for crash protection", Journal of Community Health, 3, 136-141 (1977).

7. C.A. Lave, "Energy Policy as Public Policy", in Changing Energy Use Futures, Volume IV, Fazzolare and Smith, eds., International Conference on Energy Use Management (October 22-26, 1979), pp. 2046-2053).

8. G. Castle, "The 55 mph limit: A cost-benefit analysis", Traffic Engineering, 11-14 (January 1976).

9. Ford Motor Company, "Benefits and Costs related to Fuel Leakage Associated with the Static Rollover Test Portion of FMVSS 208", réimprimé dans le Chicago Tribune Section 1, p. 1 (October 14, 1979).

10. National Highway Safety Needs Report, (U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., April 1976).

11. J.M. Potter, M.I. Smith, et S.S. Lanwalker, "Cost-effectiveness of Residential Fire Detector Systems", (Texas Technical University, Lubbock, November 1976).

12. SRI, "Decision Analysis of strategies for Reducing Upholstered Furniture Fire Losses", (Department of Commerce, Washington, D.C., June 1979).

13. L.B. Lave et E. Seskin, "The Benefits and Costs of Air Pollution Abatement", in Air Pollution and Human Health, Resources for the Future (Johns Hopkins University Press, Baltimore 1977), pp. 209-234.

14. A.M. Freeman III. "The Benefits of Air and Water Pollution Control: A Review and Synthesis of Recent Estimates", préparé pour le Council on Environmental Quality (December 1979).

15. National Academy of Sciences, Air Quality and Automobile Emission Control, Vol. 4, "The Costs and Benefits of Automobile Emission Control", préparé pour le U.S. Senate Committee on Public Works, (September 1974), pp. 1-471.

16. A. Nichols, "Alternative Regulatory Strategies for Controlling Benzene Emissions from Malaic Anhydride Plants", Mémoire préparé pour le Environmental Protection Agency (March 1980).

17. Council on Wage and Price Stability, "Exposure to Coke Oven Emissions: Proposed Standard", Executive Office of the President (May 11, 1976).

18. Council on Wage and Price Stability, "Comments Submitted to the EPA on the Proposed Drinking Water Regulations", Executive Office of the President, Washington, D.C. (September 5, 1978).

19. Council on Wage and Price Stability, "Council Comments on Proposed Standard for Occupational Exposure to Acrylonitrile", Executive Office of the President (May 22, 1978).

20. Council on Wage and Price Stability, "Council Comments on OSHA's Proposed Standard on Arsenic", Executive Office of the President (September 14, 1976).

21. C. Perry et R. Outlaw, "Safe and Healthful Working Conditions - The Vinyl Chloride Experience", Philadelphia, University of Pennsylvania (1978).

22. Koplan, Schoerbaum, Weinstein, et Fraser, "Pertussis vaccine: An analysis of benefits, risks, and costs". New England Journal of Medicine 301 (October 1979).

23. Council on Wage and Price Stability, "Council Urges More Study on Saccharin Ban", Executive Office of the President (Junel5, 1977), pp. 1-16.

24. U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration (OSHA).